

Fernandes, Amanda Cristiane Gonçalves; Cavalcanti, Lucio Flávio Moreira; Martins, Wanessa Alves; Nascimento, Adriana de Souza; Silva, Viviane Farias. Ferramentas de identificação de salinidade do solo: um estudo acerca das técnicas eficazes no manejo agrícola. *GeoGraphos* [En línea]. Alicante: Grupo Interdisciplinario de Estudios Críticos y de América Latina (GIECRYAL) de la Universidad de Alicante, 2 de junio de 2020, vol. 11, nº 127 p. 133-157 [ISSN: 2173-1276] [DL: A 371-2013] [DOI: 10.14198/GEOGRA2020.11.127].



<<http://web.ua.es/revista-geographos-giecryal>>

Vol. 11. Nº 127

Año 2020

FERRAMENTAS DE IDENTIFICAÇÃO DE SALINIDADE DO SOLO: UM ESTUDO ACERCA DAS TÉCNICAS EFICAZES NO MANEJO AGRÍCOLA

Amanda Cristiane Gonçalves Fernandes

Universidade Federal de Campina Grande-UFCG (Campina Grande, Paraíba, Brasil)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6579-0398>

Correio eletrônico: amandafernandestt@gmail.com

Lucio Flávio Moreira Cavalcanti

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (Campina Grande, Paraíba, Brasil)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3505-0986>

Correio eletrônico: flaviomat2004@hotmail.com

Wanessa Alves Martins

Universidade Federal de Campina Grande-UFCG (Campina Grande, Paraíba, Brasil)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2108-2530>

Correio eletrônico: wanessamartins.eng@gmail.com

Adriana de Souza Nascimento
Universidade Federal de Campina Grande-UFCG (Campina Grande, Paraíba, Brasil)
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6255-6763>
Correio eletrônico: adriananascimento.eng@gmail.com

Viviane Farias Silva
Universidade Federal de Campina Grande-UFCG (Campina Grande, Paraíba, Brasil)
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5891-0328>
Correio eletrônico: flordeformosur@hotmail.com

Recibido: 5 de febrero de 2020. Aceptado: 02 de junio 2020

RESUMO

As técnicas de identificação de salinidade do solo são imprescindíveis no manejo do solo na agricultura, além disso, serve como suporte para tomada de decisões em planejamentos ambientais. Objetivou-se neste trabalho analisar as diferentes técnicas de identificação de salinidade do solo adotadas em trabalhos científicos que contribuem de forma significativa na produtividade agrícola, por meio de uma revisão sistêmica contribuindo para o melhor conhecimento das informações disponíveis na literatura. O uso de ferramentas como Condutividade Elétrica, Geoestatística, Sensoriamento Remoto e Análise Multivariada permite designar práticas adequadas de manejo do solo. Observou-se que uma técnica que consegue responder simultaneamente de forma temporal e espacial é a Geoestatística, o que possibilita responder de forma mais completa os questionamentos em um planejamento. A técnica que mostrou algumas limitações foi a de Condutividade Elétrica, no entanto, dependendo do estudo consegue ser eficiente devido ao baixo custo e praticidade no levantamento de dados.

Palavras-chave: Manejo, solo, ferramenta, planejamento.

SOIL SALINITY IDENTIFICATION TOOLS: A STUDY ABOUT EFFECTIVE TECHNIQUES IN AGRICULTURAL MANAGEMENT

ABSTRACT

Soil salinity identification techniques are essential in soil management in agriculture, besides, it serves as a support for decision making in environmental planning. The objective of this work was to analyze the different soil salinity identification techniques adopted in scientific studies that contribute significantly to agricultural productivity, through a systemic review contributing to a better knowledge of the information available in the literature. The use of tools such as Electrical Conductivity, Geostatistics, Remote Sensing and Multivariate Analysis allows designating appropriate soil management

practices. It was observed that a technique that can respond simultaneously in a temporal and spatial way is the Geostatistics, which makes it possible to respond more fully to the questions in a planning. The technique that showed some limitations was the one of Electric Conductivity, however, depending on the study, it can be efficient due to the low cost and practicality in the data collection.

Keywords: Management, Ground, Tool, Planning.

HERRAMIENTAS DE IDENTIFICACIÓN DE SALINIDAD DEL SUELO: UN ESTUDIO SOBRE TÉCNICAS EFECTIVAS EN LA GESTIÓN AGRÍCOLA

RESUMEN

Las técnicas para identificar la salinidad del suelo son esenciales en el manejo del suelo en la agricultura, además, sirve como soporte para la toma de decisiones en la planificación ambiental. El objetivo de este estudio fue analizar las diferentes técnicas para identificar la salinidad del suelo adoptadas en estudios científicos que contribuyen significativamente a la productividad agrícola, a través de una revisión sistémica que contribuye a un mejor conocimiento de la información disponible en la literatura. El uso de herramientas como la conductividad eléctrica, la geoestadística, la teledetección y el análisis multivariado permite designar prácticas adecuadas de gestión del suelo. Se observó que una técnica que logra responder simultáneamente de manera temporal y espacial es la Geoestadística, que permite responder más completamente las preguntas en una planificación. La técnica que mostró algunas limitaciones fue la conductividad eléctrica, sin embargo, dependiendo del estudio, puede ser eficiente debido al bajo costo y la practicidad de la recopilación de datos.

Palabras clave: Gestión, suelo, herramienta, planificación.

INTRODUÇÃO

O processo de salinização do solo ocorre pela elevada concentração de sais solúveis em quantidades elevadas para interferir no crescimento de diferentes culturas agrícolas, segundo Medeiros *et al.* (2011) as aplicações inadequadas de fertilizantes químicos ocasionam a salinização dos solos e da água, sendo um dos responsáveis pela salinização.

De acordo com a FAO (2015) a salinidade nos solos pode ser averiguados em qualquer tipo de clima, podendo ser resultado de processos naturais, como os primários e/ou provocados por ações antrópicas (secundários), os solos salinizados ocorrem frequentemente em áreas irrigadas, principalmente em regiões áreas e semiáridas, que possuem pluviosidade irregular, com elevada taxa de evapotranspiração, acumulando sais, enquanto que regiões úmidas, os sais são lixiviados, através do perfil do solo com a água da chuva.

No semiárido brasileiro a quantidade de água é afetada pelo déficit hídrico na região, influenciando na qualidade da água utilizada na irrigação, sendo estes dois aspectos relevantes, já que a elevada evapotranspiração contribui para a concentração de sais a

níveis que contribua desfavoravelmente a agricultura, como afirmam Andrade *et al.* (2011) e Lopes *et al.* (2011).

As principais causas do processo de salinização nas áreas irrigadas são: subida do nível freático, a adoção de métodos incorretos de irrigação e o acúmulo de água salgada proveniente dos mares e oceanos. Tais efeitos na agricultura podem ser prejudiciais, tanto em termos sociais como econômicos. Destaca-se que com as mudanças climáticas tendem a um aumento da temperatura e uma subida do nível do mar, o que pode aumentar bastante a salinidade e resultar na expansão de áreas afetadas.

As áreas cultiváveis no mundo nos últimos 50 anos tiveram aumento de aproximadamente 12%, contudo houve incremento de 150% na produção agrícola, em algumas áreas este resultado é proveniente da utilização de técnicas de manejo de solo e água inadequadas que degradam o meio ambiente (FAO, 2015). A ampliação de uso de sistema de irrigação eleva a probabilidade de ocorrência de salinização dos solos nestas áreas agricultáveis.

Um dos problemas mundiais em relação a degradação do solo é a sua salinização, que vem crescendo a extensão linearmente em várias áreas, irrigadas ou não. A salinidade do solo torna cerca de 1,5 milhões de hectare de terras agricultáveis desabilitada para esta função, assim como diminuição do potencial de 46 milhões de hectare de área agrícola. Esta degradação do solo proveniente da salinização tem um custo anual de 264 dólares por ha, em 1990, no ano de 2013 este valor foi estimado em 441 dólares por há, como afirmam Quadir *et al.* (2014).

Dessa forma, o aumento da salinização do solo faz com que o mesmo se torne impróprio, infértil e improdutivo para o desenvolvimento de culturas agrícolas, refletindo assim no equilíbrio do ecossistema, levando a perda da biodiversidade local, tornando a terra imprópria para uso e diminuindo as áreas de produção agrícola causando grande impacto no ambiente bem como nas populações que o habitam. Ainda, com o excesso de salinidade vai haver uma perda na fertilidade do solo ocasionando: a compactação, a erosão, a desertificação e a sedimentação de determinadas áreas.

Atualmente, são evidentes os problemas de degradação dos solos relacionados com atividades antrópicas (Perotti *et al.*, 2015). Segundo os autores, o processo de salinização, envolve a concentração de sais solúveis na solução do solo e resulta na formação dos solos salinos, que resulta da acumulação de sais solúveis de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos horizontes do solo.

Segundo Teixeira *et al.* (2017) a forma de analisar o solo em laboratório, é restrita devido aos custos elevados, sendo analisado poucos pontos amostrais da área, não havendo condições de realizar o mapeamento da área para monitorar a salinidade, dificultando a irrigação e a fertilização. O uso de equipamentos portátil e de rápida resposta sobre a condutividade elétrica no solo vem sendo bastante aplicada, como relatam Heil & Schmidhalter (2017) como uma alternativa para obter informações das condições dos solos para poder realizar o manejo adequado, reduzindo assim os riscos de salinização da área de cultivo e os impactos ambientais.

A precaução, acompanhamento ou recuperação de solos salinos está sujeito a propriedades do solo, como umidade, temperatura, textura, são alguns exemplos, contudo as barreiras encaradas pelos atores que trabalham em área de irrigação em áreas com possibilidade à salinização, já que a salinidade é uma particularidade mudável no tempo e espaço por esta vinculada a vários processos e condições edafoclimáticas. Assim,

planejamento de manejo e propostas de recuperação dos solos salinizados devem ser monitorados no tempo e espaço da salinidade no solo (Rodrigues *et al.*, 2018).

Diante da relevância do tema é fundamental o estudo e monitoramento dos atributos e da dinâmica da água em solos salinos, na busca de encontrar soluções para o processo de salinização do solo, bem como detectar técnicas de investigação que possam fornecer dados para minimizar os efeitos da salinização, estabelecendo formas de controle desse processo, organizando estratégias de um manejo sustentável e produtivo na agricultura, com ações de conservação do solo e da água, tornando o meio ambiente sustentável.

No entanto, essa pesquisa, foi realizada objetivando se analisar as técnicas de investigação de salinidade do solo como ferramentas de auxílio para uma melhor produtividade agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa foi aplicado a revisão sistêmica, como relatado por Galvão e Pereira (2014) a revisão sistemática é classificada como pesquisa secundária, porque seus aspectos são fundamentados em pesquisas primária como banco de dados. Estes autores ainda descrevem que a revisão sistemática tem como objetivo identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as informações importantes acessíveis, em relação a informações divergentes sobre algumas pesquisas, essa é uma das melhores formas de tornar compreensível as controvérsias científicas.

A utilização de software na revisão sistêmica tem auxiliado na ampliação na obtenção de informação sobre a temática avaliada. Segundo Dantas Neto e Sousa (2016) o uso de software que tenham banco de dados gratuito e interdisciplinar, com diversos periódicos nacionais e internacionais. Foi utilizado o software Mendeley, que é de acesso livre, assim como a plataforma do google academico. Foram utilizados os seguintes termos na busca: indicadores de salinidade no solo (soil salinity indicators) e condutividade elétrica do solo (Electrical Conductivity of Soil).

Yamakawa *et al.* (2014) afirmam que é interessante ter aspectos para utilização de referências confiáveis e cientificamente mais fundamentadas, já que há grande quantidade de publicações no ambiente acadêmico, auxiliando os pesquisadores no qual decidem os artigos que interessam em suas pesquisas.

Foi considerado a partir do ano de 2010 a 2019, selecionando os artigo por termo e ano, analisando o avanço das pesquisas em relação ao tema abordado. Sendo organizado em tabelas conforme as seguintes temáticas: condutividade elétrica; sensoriamento remoto; geoestatística e análise multivariada. Em seguida é descrita o objetivo de cada artigo analisado e seus resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade elétrica é um parâmetro fundamental para detectar a quantidades de sais que estão presentes na solução do solo, com interação com demais métodos que devido os níveis de sais podem ser detectados em imagens de satélite e combinado com análise estatística, possibilita uma previsão futura de salinização do solo. No quadro 1, observa-

se que no ano de 2013, não foram encontrados artigos sobre o tema que apenas aborde a condutividade elétrica como meio de identificação da salinidade do solo.

Quadro 1. Artigos científicos que evidenciam a utilização da variável condutividade elétrica como parâmetro para analisar a salinidade do solo

Condutividade elétrica			
Autores	Título	Periódico	Ano
Visconti, F.; Paz, J.M.; Rubio, J.L.	What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands?	Geoderma	2010
Skierucha <i>et al.</i>	A TDR-based soil moisture monitoring system with simultaneous measurement of soil temperature and electrical conductivity	Sensors	2012
Heil, K.; Schmidhalter, U.	Characterisation of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site	Computers & Geosciences	2012
Rabello <i>et al.</i>	Condutividade elétrica aparente do solo	Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa	2014
Valdés <i>et al.</i>	Using soil bulk electrical conductivity to manage saline irrigation in the production of potted poinsettia	Scientia Horticulturae	2014
Behera, S. K.; Shukla, A. K.	Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped	Land Degradation & Development	2015
Siqueira <i>et al.</i>	Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar	Bragantia	2015
Bottega <i>et al.</i>	Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo	Comunicata Scientiae	2015
Sastre-Conde <i>et al.</i>	Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge	Geoderma	2015
Del Caro <i>et al.</i>	Desenvolvimento medidor de condutividade elétrica de solo por método de quatro pontas	pp. 202–204. Editora Edgard Blucher, Ltda. https://doi.org/10.5151/phypro-viii-efa-42	2016
de León-Lorenzana <i>et al.</i>	Reducing salinity by flooding an extremely alkaline and saline soil changes the bacterial community but its effect on the archaeal community is limited	Frontiers in Microbiology	2017
Medeiros <i>et al.</i>	Apparent soil electrical conductivity in two different soil types Condutividade elétrica	Revista Ciência Agronômica	2018

Condutividade elétrica			
	aparente do solo em dois tipos de solo		
Gupta, S.; Kumar, M.; Priyadarshini, R.	Electrical Conductivity Sensing for Precision Agriculture: A Review	In Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms	2019
Corwin, D. L; Scudiero, E.	Mapping soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity (ECa) directed soil sampling	Soil Science Society of America Journal	2019

Fonte: Autores, 2020.

Conforme Rabelo *et al.* (2014) a condutividade elétrica aparente é uma importante ferramenta para a agricultura de precisão, esta técnica por sua vez, não alcança todas as respostas em um planejamento. De acordo com Gupta *et al.* (2019) a agricultura de precisão atualmente é uma opção de manejo com maior qualidade e eficiência no cultivo e manejo de solo e água, reduzindo os impactos ambientais assim como a diminuição de insumos, contudo tem como desvantagens a dificuldade em obter informações sobre o solo de maneira ágil, por isso várias pesquisas possibilitam ampliar a quantidade de instrumentos e métodos para que as informações necessárias sejam obtidas em pouco tempo, através de sensores.

Observou-se que a técnica de condutividade elétrica (Quadro 1) é muito utilizada para estudos de agricultura de precisão por ser considerada prática e de baixo custo. Para estudos simples das características físicas do solo a técnica é eficaz e consegue suprir algumas respostas em planejamentos.

Os sensores de condutividade elétrica surgem como uma forma barata e rápida de coletar grande quantidade de dados, os quais abrangem diversas causas da variabilidade espacial da produtividade ligadas às características do solo (MIRANDA, 2017). A medição da condutividade elétrica aparente do solo (ECA) é uma das formas de identificação espacial de uma área, contudo a explanação dos dados de ECA deve levar em consideração erros de medição, interações complexas entre as propriedades do solo que afetam as medições dos sensores, entre outros aspectos que podem afetar os dados, sendo fundamental seguir os protocolos para tornar eficiente e seguro os resultados obtidos, como relatam Corwin e Scudiero (2019), em seu artigo (Quadro 1).

Segundo Queiroz *et al.* (2016), a análise dos dados para a avaliação da salinidade do solo necessita de grande habilidade, conhecimento, experiência e utilização de técnicas estatísticas adequadas, principalmente devido à grande variabilidade dos dados normalmente encontrada nos parâmetros.

Os parâmetros de salinidade químicos, como condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (TDS) e taxa de adsorção de sódio (SAR), já os cristais de sal e manchas nos solos na superfície do solo podem ser visualmente identificados, sendo considerados aspectos físicos da salinidade do solo. As plantas também podem ser consideradas bioindicadores, sendo utilizado espécies vegetais indicadoras integrado aos aspectos químico e físico (Lin & Banuelos, 2015).

Segundo Siqueira (2015), a agricultura atual requer a inserção de novas tecnologias que permitam a identificação dos padrões de solo e planta, possibilitando a determinação da sua variabilidade espacial. O teste de condutividade elétrica é um teste de vigor que pode ser muito eficiente (Xavier *et.al.*, 2017).

A variável condutividade elétrica tem papel fundamental em todos os métodos ou instrumentos que são aplicados buscando avaliar a salinidade do solo, o uso de plantas para identificar a salinização de uma área é uma das técnicas aplicadas em sensoriamento remoto, mas não é interessante para agricultura. Na busca de sustentabilidade na agricultura, a precisão e eficiência em todo o processo de cultivo desde preparo do solo, reduz os impactos ambientais com aplicação de insumos e água apenas necessária para obter uma produção em níveis elevados, como também o monitoramento da área auxilia na tomada de decisões para que não ocorra salinização em níveis elevados.

No quadro 2, observa-se que o objetivo das pesquisas descritas nos artigos é de utilizar a condutividade elétrica do solo como base para detectar a salinidade, assim como algum instrumento ou técnica que venham a facilitar a detecção de sais no solo, como ampliar a análise química do solo para se ter um resultado mais abrangente. Nota-se que as conclusões das pesquisas auxiliam na tomada de decisão tanto para o manejo, como também para desenvolvimento de técnicas que seja eficaz.

Quadro 2. Objetivo, variáveis avaliadas e conclusão pelos autores nos artigos científicos que evidenciam a utilização da variável condutividade elétrica como parâmetro para analisar a salinidade do solo

Condutividade Elétrica		
Objetivo	Variáveis	Conclusão
What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands?		
Analisar se as informações fornecidas pela condutividade elétrica dos extratos do solo 1: 5 (EC 1:5) é um pré-requisito para orientar o desenvolvimento da equação e usar o EC 1:5 para a avaliação da salinidade do solo.	Foram analisadas as seguintes propriedades químicas: concentração de sódio, amônio, potássio, magnésio, cálcio, cloreto, nitrito, nitrato, sulfato, alcalinidade e condutividade elétrica.	A utilidade do EC 1:5 para estimar a salinidade do solo pode ser estendida quando usado em conjunto com uma estimativa do teor de gesso no solo.
A TDR-Based Soil Moisture Monitoring System with Simultaneous Measurement of Soil Temperature and Electrical Conductivity		
Apresentar um sistema de monitoramento de umidade do solo baseado em TDR com medição simultânea da temperatura e condutividade elétrica do solo desenvolvido no Institute of Agrophysics PAS (Lublin, Polônia) e implementado no Parque Nacional Polesie, na Polônia	umidade do solo, temperatura e salinidade	Os valores de temperatura coletados simultaneamente nos mesmos volumes que o teor de umidade do solo e a condutividade elétrica do solo podem ser utilizados para a correção da temperatura dessas variáveis.
Characterization of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site		
Desenvolvimento de modelos para derivar o conteúdo de argila, silte e areia / cascalho	Condutividade elétrica aparente (EC a), profundidade de fronteira entre sedimentos quaternários e terciários, parâmetros do terreno e cultivo (orgânico vs integrado e tipo de fertilizante)	A CE um, em combinação com a profundidade limite entre sedimentos quaternários e terciários, a elevação, o aspecto do terreno e os parâmetros de cultivo representam uma técnica de levantamento útil e robusta para prever a textura do solo
Condutividade elétrica aparente do solo		

Desenvolvimento de sistema protótipo pra analisar a condutividade elétrica do solo	Condutividade elétrica	O uso da condutividade elétrica aparente do solo tem demonstrado como uma importante ferramenta para os trabalhos de agricultura de precisão, sua facilidade, simplicidade e praticidade leva a economia de tempo e custo na realização das tomadas de decisões das áreas de manejo e de variabilidade espacial das áreas de estudos.
Using soil bulk electrical conductivity to manage saline irrigation in the production of potted poinsettia		
Avaliar se as medições da condutividade elétrica do solo (ECB) em substrato saturado podem ser usadas para manter diferentes níveis salinos de substrato	Permissividade, a temperatura e a CE do solo (ECB)	Apesar de não ser uma leitura real da salinidade da solução do solo, é um parâmetro intimamente relacionado, que pode ser considerado uma ferramenta útil para mitigar os efeitos negativos da irrigação salina na produção de plantas ornamentais em vasos.
Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped		
Estudar a variabilidade espacial das propriedades do solo em alguns solos ácidos da Índia.	acidez do solo (pH), condutividade elétrica (CE), teor de carbono orgânico (OC) do solo, potássio trocável (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺) e magnésio (Mg ²⁺)	A análise geoestatística revelou que os melhores modelos de ajuste foram gaussianos, exponenciais e esféricos para diferentes propriedades do solo com dependência espacial moderada a forte.
Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar		
Determinar a relação espacial entre a produção de cana-de-açúcar e a condutividade elétrica aparente do solo	Condutividade elétrica aparente do solo (CE ∞ a ∞) medida por indução eletromagnética (EMI) e textura do solo	A condutividade elétrica medida por indução eletromagnética tem se mostrado uma ferramenta importante para prever o rendimento da cana-de-açúcar. As propriedades texturais (argila, silte e areia) apresentaram alta variabilidade espacial.
Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo		
Analisar a correlação entre a condutividade elétrica aparente com os atributos químicos e físicos de um Hapludox Rhodic.	181 amostras de solo georreferenciadas em profundidades de 0,00 a 0,20 metros e realizadas análises físico-químicas	Houve uma correlação positiva significativa da condutividade elétrica aparente do solo, a uma profundidade de 0,20 m, com a correspondência dos atributos químicos, restante fósforo e zinco.
Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge		
Efeito da lavagem de solos salinos e sódicos com CaCl ₂ a 2% (p / v) e da emenda com lodo de esgoto compostado e seco foi avaliado em um ensaio de remediação.	Porcentagem permutável de sódio, valores de pH, taxa de adsorção de sódio no solo	A lavagem de solo salino-sódico com CaCl ₂ , seguida pela adição de emendas orgânicas, parece ser uma estratégia promissora para a restauração desses solos, com melhorias simultâneas no balanço de cátions e no conteúdo de nutrientes / matéria orgânica.
Desenvolvimento medidor de condutividade elétrica de solo por método de quatro pontas		
Desenvolver um medidor de condutividade elétrica via técnica de 4 pontas para a medição da umidade do solo.	Uma caixa retangular; Raios de bicicleta cromado para ser o eletrodo; Filtro RC; Arduino MEGA	Foi desenvolvido um medidor de condutividade elétrica de quatro pontas. Segundo os resultados obtidos através do medidor foram

		satisfatórios
Reducing salinity by flooding an extremely alkaline and saline soil changes the bacterial community but its effect on the archaeal community is limited		
Reduzir a salinidade inundando um solo extremamente alcalino e salino	O solo do antigo lago Texcoco com condutividade eletrolítica (CE) 157,4 dS m ⁻¹ e pH 10,3 foi inundado mensalmente no laboratório em condições controladas por 10 meses, enquanto as características do solo foram determinadas e a estrutura da comunidade arcaica e bacteriana monitorada por meio de 454 pirosequenciamentos do gene 16S rRNA	Uma grande variedade de táxons bacterianos foi afetada significativamente pelas mudanças nas características do solo, ou seja, quatro filos, nove classes, 17 ordens e 28 famílias. A inundação do solo reduziu drasticamente a CE, mas também o teor de argila do solo
Apparent soil electrical conductivity in two different soil types		
Examinar as relações entre CE a e atributos do solo em dois campos apresentando diferentes texturas do solo.	50 pontos de amostragem foram escolhidos usando um caminho que apresentava uma alta variabilidade da EC a obtida de um mapa preliminar da CE	Os resultados sugerem que o mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo não substitui a amostragem tradicional do solo, no entanto, pode ser usado como informação para delimitar regiões em um campo com atributos similares.
Electrical Conductivity Sensing for Precision Agriculture: A Review		
Fornecer uma revisão do desenvolvimento e implantação de sensores aplicados para EC a medição para fins agrícolas, princípio de funcionamento do solo EC a medição, técnicas e equipamentos usados para medição.	Resistividade elétrica (ER), indução eletromagnética (EM) e refletometria no domínio do tempo (TDR) são as técnicas utilizadas para medir a condutividade elétrica do solo (CE)	A CE a é afetada por propriedades físico-químicas que incluem: teor de argila, sais solúveis, umidade do solo, densidade do solo, matéria orgânica do solo, temperatura do solo etc.
Mapping soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity (Eca) directed soil sampling		
Realizar amostragem de solo dirigido pela condutividade elétrica	Existem 10 etapas básicas que compreendem os protocolos para conduzir um Eca: – Levantamento amostral direcionado para caracterizar o solo variabilidade espacial: (i) registro de metadados, descrição do local, controle de GPS e pontos de fronteira, (ii) ECa concepção da pesquisa, (iii) ECa georeferenciada coleção de dados,	Equipamentos ECA móveis, protocolos, diretrizes, considerações especiais, confiabilidade dos dados e pontos fortes e limitações do solo dirigido por Eca amostragem são apresentadas.

Fonte: Autores, 2020.

Observa-se que a maioria dos artigos obtidos no banco de dados Medley e google acadêmico, são de periódicos internacionais (Quadros 1 e 3), apesar do semiárido ser uma das regiões com elevado índice de áreas salinizadas devido sua característica de formação rochosa, como também devido áreas com manejo de irrigação inadequado, e demais

fatores, tem potencial elevado de salinização do solo. Mas como observa-se ainda a quantidade de pesquisas realizadas não são expressivas para a resolução dos problemas.

No quadro 3, verifica-se a utilização da condutividade elétrica do solo para realizar a variabilidade espacial da cultura de milho, conforme Scudiero *et al.* (2013) as propriedades do solo afetam no rendimento da cultura e constataram que a salinidade influencia diretamente o rendimento e o mapeamento é fundamental para detectar as áreas do solo e observar os impactos ocasionado no solo, havendo assim eficiência no manejo com menores impactos ambientais. Teggi *et al.* (2012) ao pesquisarem método eficaz para avaliação de solos salinos através de imagens do SPOT5, notaram que em solos nus esta metodologia é viável pra verificar os solos salinizados, baseada na análise espectral.

Em relação aos artigos selecionados, Quadro 3, nota-se que no ano de 2010, já há pesquisas sobre a Krigagem e uso de imagens LANDSAT para identificar áreas salinizadas, assim como em 2013 têm a utilização de refletância do solo analisada pelas imagens para solos salinos, bem como aplicação de imagens de satélite para mapear e classificar áreas salinizadas, buscando um modelo que facilite e identifique em tempo hábil a salinidade do solo, verificando a degradação do solo e possibilitando realizar o manejo adequado nestas áreas e diminuir os impactos ambientais.

Quadro 3. Artigos científicos sobre uso de sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada na detecção de áreas salinizadas

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada			
Autores	Título	Periódico	Ano
Eldeiry, A.A.; Garcia, L. A.	Comparison of ordinary kriging, regression kriging, and cokriging techniques to estimate soil salinity using LANDSAT images	Journal of Irrigation and Drainage Engineering	2010
Zhang <i>et al.</i>	Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity	Ecological Indicators	2011
Eldeiry, A.A.; Arcia, L.A.	Using Indicator Kriging Technique for Soil Salinity and Yield Management	Journal of irrigation and drainage engineering	2011
Bouaziz, M.; Matschullat, J.; Gloaguen, R.	Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil	Comptes Rendus Geoscience	2011
Andrade <i>et al.</i>	Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	2011
Dehni, A.; Lounis, M.	Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria	Procedia Engineering	2012
Teggi <i>et al.</i>	SPOT5 imagery for soil salinity assessment in Iraq	Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications III	2012
Scudiero <i>et al.</i>	Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity	Computers and Electronics in Agriculture	2013
Abbas <i>et al.</i>	Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach	Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C	2013

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada			
Autores	Título	Periódico	Ano
Allbed, A.; Kumar, L.	Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review	Advances in Remote Sensing	2013
Lhissoui <i>et al.</i>	Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data	Eurasian Journal of Soil Science	2014
Allbed, A.; Kumar, L.; Aldakheel, Y.Y.	Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region	Geoderma	2014
Allbed, A.; Kumar, L.; Sinha, P.	Mapping and Modelling Spatial Variation in Soil Salinity in the Al Hassa Oasis Based on Remote Sensing Indicators and Regression Techniques	Remote Sens	2014
Bezerra <i>et al.</i>	Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	2014
Gorji, T.; Tanik, A.; Sertel, E.;	Soil Salinity Prediction, Monitoring and Mapping Using Modern Technologies	Procedia Earth and Planetary Science	2015
Bannari, A.; Guédon, A. M.; El-Ghmari, A.	Mapping Slight and Moderate Saline Soils in Irrigated Agricultural Land Using Advanced Land Imager Sensor (EO-1) Data and Semi-Empirical Models	Communications in Soil Science and Plant Analysis	2016
Queiroz <i>et al.</i>	Avaliação e monitoramento da salinidade do solo usando ferramentas de geoestatística	Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados	2016
Asfaw, E.; Suryabhadgavan, K. V.; Argaw, M.	Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia	Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences	2018
Carolino <i>et al.</i>	Geoestatística aplicada ao estudo da salinidade do solo, Sumé – Paraíba	Revista Agropecuária Científica no Semiárido	2017
Abdelrahman <i>et al.</i>	Quantitative assessment of soil saline degradation using remote sensing indices in Siwa Oasis	Remote Sensing Applications: Society and Environment	2019
Mattos, J.B.; Silva, K.B.	Aplicação de mapas auto-organizáveis e SIG: análise espacial da hidroquímica dos aquíferos em uma média cidade brasileira	Revista Águas subterrâneas	2019
Xie <i>et al.</i>	Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China	Journal of Soils and Sediments	2019
Kloopp <i>et al.</i>	Atterberg limits and shrink/swell capacity of soil as indicators for sodium sensitivity within a gradient of soil exchangeable sodium percentage and salinity	Geoderma	2019

Fonte: Autores, 2020.

O estudo da geoestatística, de acordo com as pesquisas realizadas (Quadro 3) são aplicadas a solos salinos permitindo uma descrição quantitativa da variação espacial no solo, a estimativa não tendenciosa e de variância mínima de valores da propriedade em locais não amostrados, permitindo assim a construção de mapas de valores e também a identificação de esquemas de amostragem eficientes. Assim, o uso da geoestatística através da técnica de krigagem, no estudo da salinidade do solo vem a auxiliar no monitoramento, controle e manejo da salinidade do solo em diferentes culturas agrícolas. Permitindo a tomada de decisões no que diz respeito a detecção da salinidade do solo de forma eficiente.

Utilizando imagem do sensor TM Landsat e medições de campo de condutividade elétrica (CE), Lhissoui *et al.* (2014) afirmam que esta correlação entre os dados de imagem e medições de campo permitiu desenvolver um modelo semi-empírico que permite o mapeamento da salinidade do solo na região irrigada, com um coeficiente de correlação $R^2= 0,90$ e que este modelo obtido tem a capacidade de indicar os níveis de salinização do solo.

No que se refere a técnica de sensoriamento remoto, esta é umas das técnicas que consegue mais respostas temporais e espaciais em planejamento. Além disso, consegue compreender a dinamicidade dos processos biofísicos e através dos sensores orbitais consegue uma discriminação mais completa das características do solo (Quadro 3). Allbed *et al.* (2014) afirmam que uma das adversidades ambientais em áreas semiáridas é a salinidade do solo, assim estes autores relatam que ao utilizar sensoriamento remoto com métodos estatísticos há uma probabilidade elevada de obter resultados satisfatórios, por ser de baixo custo e permitindo detectar salinidade do solo em estágios iniciais para o manejo adequado para manutenção do solo para agricultura e ecossistemas.

Sensores multiespectrais como os da série Landsat, do SPOT, do IKONOS, do QuickBird e do IRS, assim como os hiperspectrais Hyperion/EO-1 e HyMap, são bastante usados em aplicações para detecção, mapeamento e monitoramento da salinidade do solo (FARIFTEH, 2007; DEHNI e LOUNIS, 2012). Esses sensores captam a energia refletida ao longo do espectro eletromagnético, cobrindo a região do visível (VIS: 400 – 700 nm), infravermelho próximo (NIR: 700 –1100 nm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR: 1100 –2500 nm). Essa energia é usada para obter informações sobre a superfície da Terra com diferentes níveis de detalhes (Moreira, *et al.*, 2016).

As pesquisas anteriores foram realizadas focando na qualidade dos solos salinizados e não salinizados e acompanhando seu desempenho. Gorji *et al.* (2015) relatam que estas três formas de analisar a salinização do solo (sensoriamento remoto (SR), os sistemas de informação geográfica (SIG) e a modelagem) ultrapassaram na eficiência os métodos convencionais. O mapeamento quantitativo através de informações multitemporais e multiespectrais através de observações do sensoriamento remoto. Na identificação de problemas de salinidade do solo, Moreira *et al.* (2016) com uso do sensoriamento remoto, verificaram que a discriminação de solos expostos salinizados pode ser realizada pela diferença de brilho dos pixels com dados de sensores orbitais.

O mapeamento da salinidade teve seus resultados iniciais auspicioso por meio de uso dos índices de vegetação na avaliação, já que os índices é o método adequado no caso de solos expostos ou solos com baixa vegetação dispersa, segundo Gorji *et al.* (2015). Em solos salinos, a refletância espectral dos aspectos no solo ou da vegetação que foi afetada negativamente pela salinização diverge conforme a quantidade de sais. Allbed *et al.*

(2014) relatam que aplicando o sensoriamento remoto abordaram variáveis de vegetação e salinidade do solo, através de uma fundamentação sistemática com amostragem de 149 amostras de solo e foram utilizadas imagens de satélites IKONOS, dessa maneira os autores afirmam que apenas estes índices tiveram resultados satisfatórios, o Índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI) e o Índice de salinidade Diferencial Normalizada (NDSI) e Índice de Salinidade (SI-T) para serem utilizados na avaliação de áreas salinizadas, como pode ser constatado no quadro 4.

A técnica de Geoestatística é também muito utilizada, além de ser um dos modelos mais eficiente em estudos de identificação de salinidade de solos. Permite avaliar o grau de variabilidade das variáveis e a dependência espacial destas. O processo de Krigagem é uma das técnicas que além de conseguir respostas mais concretas nos estudos de planejamento dos solos permite a visualização das áreas afetadas através de mapeamentos, tornando-se um método bastante utilizado tanto na prevenção como na remediação de salinidade (Quadro 4).

De acordo com Abdelrahman *et al.* (2019) o modelo de semivariograma através das técnicas de Kriging aplicado para produzir mapas e para calcular as taxas de degradação do solo indicam que a abordagem geoestatística e o construtor de modelos do ArcGIS podem expor diretamente a variabilidade espacial das propriedades do solo e medir com precisão as modificações do solo, sendo evidenciado sua aplicação pelos agricultores auxiliando na tomada de decisão. Mattos e Silva (2019) afirmam que realizar análises dos parâmetros químicos da água contida nos aquíferos e com aplicação do SIG servem como mecanismos para verificar a situação da qualidade da água e para a gestão hídrica.

A técnica de Análise Multivariada através das ferramentas de análise de agrupamentos, análise fatorial e análise de componentes principais conseguem avaliar o grau de similaridade entre as variáveis agrupadas. Esse processo conduz a tomada de decisões de forma mais significativa, pois, o estudo considerará variáveis que de fato sofrem alguma influência significativa. Esta técnica é imprescindível no processo de tomada de decisões. No entanto, as variáveis precisam já ser estabelecidas. Ou seja, é fundamental para dar suporte nas conclusões do planejamento. Mas para a obtenção das variáveis a geoestatística e o sensoriamento remoto conseguem ser mais eficientes (Quadro 4).

Quadro 4. Objetivo, variáveis avaliadas e conclusão pelos autores dos artigos científicos sobre uso de sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada na detecção de áreas salinizada

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada		
Objetivo	Variáveis	Conclusão
Comparison of ordinary kriging, regression kriging, and cokriging techniques to estimate soil salinity using LANDSAT images		
Os objetivos são: (1) avaliar as melhores combinações de bandas do LANDSAT para estimar a salinidade do solo com diferentes tipos de culturas; (2) comparar técnicas comuns de krigagem, regressão e cokrigagem para gerar mapas precisos de	Seis imagens LANDSAT adquiridas durante os anos: 2000, 2001, 2003, 2004, 2005 e 2006 em conjunto com dados de campo foram usadas para estimar a salinidade do solo na área de estudo.	Os resultados mostram que as melhores combinações de bandas para estimar a salinidade do solo com diferentes culturas são as seguintes: alfafa [vermelho, infravermelho próximo e índice de vegetação com diferença normalizada

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada		
Objetivo	Variáveis	Conclusão
salinidade do solo quando aplicados a imagens LANDSAT; e (3) comparar o desempenho de diferentes tipos de culturas: alfafa, melão, milho e trigo como indicadores de salinidade do solo.		(NDVI)]; melão (azul e verde); milho (próximo, térmico e NDVI); e trigo (azul e térmico).
Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity		
Avaliar o hiperespectro de sete espécies típicas sensíveis ao sal / halófitas e suas amostras de solo na zona das raízes foram coletadas para investigar a relação entre espectros de vegetação e salinidade do solo no delta do rio Amarelo (YRD) da China	índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI); regressão multivariada de mínimos quadrados parciais (PLS)	Os resultados indicam o potencial de monitorar a salinidade do solo com o hiperespectro de plantas sensíveis ao sal e halófitas
Using Indicator Kriging Technique for Soil Salinity and Yield Management		
Os objetivos foram: (1) gerar mapas classificados e as zonas correspondentes de incerteza do potencial de rendimento esperado para as principais culturas cultivadas na área de estudo; (2) comparar a produtividade potencial esperada de diferentes culturas com base nas condições de salinidade do solo; e (3) avaliar a receita líquida esperada de várias culturas sob diferentes condições de salinidade do solo.	A krigagem de indicador (IK) foi aplicada a cada cenário para gerar mapas que mostram as áreas potenciais esperadas de rendimento percentual e as zonas correspondentes de incerteza para cada uma das diferentes classes.	O trigo e o sorgo tem maior potencial de rendimento, com base nas diferentes condições de salinidade do solo. A receita líquida esperada de alfafa e milho é a mais alta nas diferentes condições de salinidade do solo.
Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil		
Proposta de uma abordagem que permite a detecção de solos afetados por sal em ambientes áridos e semi-áridos.	Combinação de sensoriamento remoto e medições geoquímicas no solo. Índices espectrais foram utilizados para caracterizar características e padrões de salinização do solo. Técnica de Desmistificação Espectral Linear	Para gerar um mapa de salinidade previsto, é realizada uma regressão linear múltipla, com base nos melhores índices correlacionados.
Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada		
Investigar a aplicabilidade da técnica de estatística multivariada, análise de agrupamento.	CEes (condutividade elétrica do extrato de saturação do solo), Ca ²⁺ + Mg ²⁺ , Cl ⁻ , Na ⁺ e K ⁺ e a RAS (razão de adsorção do sódio).	Uma forma de verificar a semelhança entre os atributos estudados. Pode ser aplicado em pesquisa de identificação de áreas com risco de salinidade.
Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria		
Explorar os dados ópticos multi-espectrais do LANDSAT ETM + (Mapeador Temático	Índices de salinidade e sodicidade Índice de Salinidade; Índice de Salinidade do Aster (Agricultura), Índice de Salinidade e o SSSI "Índice de Salinidade e Sodicidade do Solo".	Efeito crescente da salinidade de 186 pontos amostrados e desequilíbrio para estimativa espacial do estado da superfície do aquífero Es-

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada		
Objetivo	Variáveis	Conclusão
Aprimorado) para mapear estados de superfície		Senia. Os dados de sensoriamento remoto via satélite forneceram informações em tempo real de ; uma ferramenta analítica eficiente para estimar áreas afetadas por sal e culturas afetadas pela salinidade.
SPOT5 imagery for soil salinity assessment in Iraq		
Mostrar alguns resultados de um estudo destinado a definir uma metodologia para avaliação da salinidade do solo no Iraque	Imagens do SPOT 5; identificação de solos salinizados em solos nus. Avaliações da salinidade do solo com vegetação.	Em solo descoberto, a identificação de sal é baseada em análise espectral;
Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity		
Demonstrar o delineamento de gerenciamento de culturas específicas do local utiliza unidades de gerenciamento específicas do local- SSMUs	Os mapas de produtividade de milho (Zea mais L.) de 2010 e 2011; usando condutividade elétrica aparente geoespacial do solo (ECa) e medições de refletância do solo descoberto.	Nos casos em que medições como ECa e NDVI de solo descoberto não estão diretamente correlacionadas com a produção de milho, seu uso combinado pode ajudar a classificar o solo de acordo com sua fertilidade.
Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach		
Abordagem integrada para caracterizar a salinidade do solo usando dados remotamente detectados	Os índices de salinidade baseados em dados detectados remotamente; classificação supervisionada de máxima verossimilhança	O comportamento interativo de salinidade e sodicidade e suas combinações mostrou que os solos salino-sódicos ocorreram predominantemente
Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review		
Monitorar e mapear a salinidade do solo em um estágio inicial para implementar um programa eficaz de recuperação do solo que ajude a diminuir ou impedir o aumento futuro da salinidade do solo.	Técnicas de sensoriamento remoto	O sensoriamento remoto superou o método tradicional de avaliação da salinidade do solo, oferecendo técnicas de avaliação rápida mais informativas e profissionais para monitorar e mapear a salinidade do solo. A salinidade do solo pode ser identificada a partir de dados de sensoriamento remoto obtidos por diferentes sensores por meio de indicadores diretos que se referem às características do sal que são visíveis na superfície do solo, bem como indicadores indiretos, como a presença de planta halofítica e a avaliação do nível de desempenho da salinidade. culturas tolerantes.
Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data		
Desenvolver um modelo semi-empírico que permite o	Imagem do sensor TM Landsat e medições de campo de condutividade elétrica (CE), a correlação entre os	Modelo com coeficiente de correlação $r^2 = 0,90$.

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada		
Objetivo	Variáveis	Conclusão
mapeamento da salinidade do solo na região irrigada.	dados de imagem e medições de campo nos permitiu	Mapeamento de áreas salinizadas
Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region		
Avaliar os níveis de salinidade do solo	Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), Índice de Salinidade Diferencial Normalizada (NDSI) e Índice de Salinidade (SI-T)	O Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), Índice de Salinidade Diferencial Normalizada (NDSI) e Índice de Salinidade (SI-T) tiveram os melhores resultados para avaliar a salinidade do solo
Mapping and Modelling Spatial Variation in Soil Salinity in the Al Hassa Oasis Based on Remote Sensing Indicators and Regression Techniques		
Desenvolver modelos de regressão estatística baseados em indicadores remotamente detectados para prever e mapear variações espaciais na salinidade do solo	A correlação estatística entre as medidas de campo da condutividade elétrica (CE), índices espectrais e bandas originais do IKONOS	Os mapas de salinidade do solo gerados usando o modelo selecionado mostraram que solos fortemente salinos (> 16 dS/m) com distribuição espacial variável foram a classe dominante na área de estudo. A variabilidade espacial dessa classe sobre as áreas investigadas foi atribuída a vários fatores, incluindo fatores do solo, fatores relacionados ao manejo e fatores climático
Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte		
Avaliar a dinâmica espaço-temporal dos parâmetros biofísicos	Variabilidade dos parâmetros de albedo da superfície, NDVI e temperatura de superfície.	O de SIG e o sensoriamento remoto possibilitou indicar as desigualdades espaciais e temporais das variáveis biofísicas em relação ao uso e à ocupação do solo.
Soil Salinity Prediction, Monitoring and Mapping Using Modern Technologies		
Ênfase é dada às técnicas utilizadas para prever e monitorar a salinidade do solo nas diferentes regiões do mundo.	Sensoriamento remoto (RS), os sistemas de informação geográfica (SIG) e a modelagem	O sensoriamento remoto (RS), os sistemas de informação geográfica (SIG) e a modelagem superaram recentemente os métodos tradicionais. Os índices se tornaram o método adequado no caso de solos expostos ou solos com baixa vegetação dispersa.
Mapping Slight and Moderate Saline Soils in Irrigated Agricultural Land Using Advanced Land Imager Sensor (EO-1) Data and Semi-Empirical Models		
Avaliar o potencial do sensor Advanced Land Imager (ALI) a bordo do satélite Earth Observing-1 (EO-1)	Modelos preditivos semi-empíricos desenvolvidos em um estudo anterior usando análise de regressão de segunda ordem entre a CE de solos afetados por sal e diferentes índices de salinidade espectral foram aplicados à imagem ALI.	O modelo baseado no Índice de Salinidade-1 (SI-1) e no Radiômetro de Reflexão Térmica e Reflexão Transmitido no Espaço (SI-ASTER) confunde vegetação com alta salinidade do solo
Avaliação e monitoramento da salinidade do solo usando ferramentas de geoestatística		

Sensoriamento remoto, geoestatística e análise multivariada		
Objetivo	Variáveis	Conclusão
Avaliação de técnicas de amostragem em solos afetados por sais e da análise de dados por meio de técnicas exploratórias e o emprego da geoestatísticas	Formas de amostragens; estratégias de amostragens; Amostragem composta Queiroz	A estatística clássica e da geoestatística se complementam. Apenas a geoestatística caracteriza a estrutura de dependência espacial entre os parâmetros analisados. que definem a salinidade do solo.
Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia		
Mapear a salinidade do solo usando sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.	Campo da condutividade elétrica; índice de salinidade	Da área total, 18,8% e 23% foram identificados como moderadamente e levemente salinos.
Geoestatística aplicada ao estudo da salinidade do solo, Sumé – Paraíba		
Estudar a variabilidade espacial dos parâmetros de salinidade do solo em um solo de origem aluvial, afetado por sais	CEes, RAS e PST	As variáveis CE, RAS e PST tiveram elevada variabilidade nas profundidades
Quantitative assessment of soil saline degradation using remote sensing indices in Siwa Oasis		
Calcular as taxas de degradação do solo e suas áreas na área estudada	Os índices de sensoriamento remoto e a variabilidade espacial das propriedades do solo foram implementados no Arc GIS model-Builder	Áreas agrícolas, solos salinos e áreas de exploração de água foram aumentadas
Aplicação de mapas auto-organizáveis e SIG: análise espacial da hidroquímica dos aquíferos em uma média cidade brasileira		
Identificar padrões espaciais hidroquímicos de águas subterrâneas	SIG, Mapas, íons maiores e condutividade elétrica	Foi detectado região com águas classificadas como salobras e salgadas
Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China		
Investigar o impacto dos anos de recuperação nos indicadores de salinização do solo e nas propriedades físico-químicas	A densidade do solo (BD), o teor de água no solo (SWC), a distribuição do tamanho de partículas do solo (PSD), o teor de sal no solo (SSC), o pH, a taxa de adsorção de sódio (SAR), a porcentagem de sódio trocável (ESP), capacidade de troca catiônica (CEC), nitrogênio total (TN), fósforo total (TP), matéria orgânica (SOM), nitrogênio hidrolisado alcalino (AN) e fósforo disponível (AP)	A recuperação a longo prazo pode diminuir radicalmente a salinização do solo e acúmulo de nutrientes no solo
Atterberg limits and shrink/swell capacity of soil as indicators for sodium sensitivity within a gradient of soil exchangeable sodium percentage and salinity		
Determinar se as medidas relacionadas ao inchaço do solo podem ser um proxy para determinar a sensibilidade do solo ao sódio trocável	Níveis de salinidade e porcentagem de sódio permutável (ESP)	Sensibilidade dos solos à sodicidade e uma medição do solo para identificar o risco de sodicidade do solo.

Fonte: Autores, 2020.

A reflectância espectral do sal na superfície do solo ou da vegetação em áreas salinizadas pode ser utilizada como um indicador de salinidade. Em termos quantitativos, a reflectância da superfície pode ser correlacionada com a condutividade elétrica, principal medida usual para caracterização da salinidade do solo (Moreira, *et al.*, 2016). Os autores ainda afirmam que as imagens hiperespectrais, aparecem como uma fonte de dados promissora, e são obtidas em nível de resolução espectral mais próximo do existente em condições de laboratório. Com a utilização do sensoriamento remoto é possível obter parâmetros biofísicos, como afirma Bezerra *et al.* (2014) ao pesquisar a dinâmica dos padrões espaciais e temporais dos processos biofísicos de interação solo-planta-atmosfera no semiárido (Quadro 4).

Com passar dos anos, como observa-se no estudo de Asfaw *et al.* (2018) com sensoriamento remoto vinculado a outros métodos estatísticos resultam em modelos de previsão de salinidade bem aceitos, assim estes com um modelo para mapear a salinidade do solo fazendo uso de sistemas de sensoriamento remoto e informações geográficas, através imagens de landsat. A interação das variáveis detectadas remotamente e as medidas de campo da condutividade elétrica, gerou um modelo com $R^2 = 0,78$, resultando na identificação de intensidade de salinidade da área em estudo, sendo indicado este modelo para utilizar no monitoramento da salinidade do solo de áreas irrigadas.

Para o planejamento de uma agricultura comercial de precisão, o conhecimento da variação espacial da salinidade do solo se torna uma ferramenta de importante colaboração, Carolino *et al.* (2017), por meio da geoestatística no estudo da salinidade no Município de Sumé no estado da Paraíba, relataram que foi possível analisar o grau de variabilidade das variáveis e a dependência espacial destas. O monitoramento da salinidade torna-se necessário a utilização de métodos rápidos, precisos e com baixo custo. Esta avaliação deve ter por meta a identificação de fatores que contribuem ou estão contribuindo para aumenta o grau salinidade, além de definir um sistema de amostragem adequado e que classifique os resultados conforme a magnitude dos dados, através do processo de Krigagem é possível obter um mapeamento e o planejamento de estudos quanto a resposta de cultivos em diferentes níveis de salinidade (Queiroz *et al.*, 2016) (Quadro 4).

As atividades humanas, com poucas exceções, sejam no campo das ciências naturais, exatas, humanas ou sociais, são processos multivariados, os quais devem ser pesquisados através das técnicas de estatística multivariada. Dentre esses métodos da pode-se citar: a análise de agrupamento, medidas de similaridade, algoritmo de agrupamento, número de grupos e Análise de Componentes Principais – ACP (Andrade *et al.*, 2016). Andrade *et al.* (2011) em sua pesquisa sobre a mudança do status salino do solo com análise multivariada, relataram que esta técnica é apropriada para definir semelhança entre os atributos, independente da sua posição no tempo ou no espaço.

Já o método da análise de componentes principais – ACP transforma linearmente um conjunto original de variáveis num conjunto menor de variáveis não correlacionadas, que possui uma maior parte das informações do conjunto original. Por não depender de um modelo estatístico os fatores estabelecidos pela ACP permitem uma melhor descrição e organização dos dados. Além disso, visa reduzir o número de variáveis que não possuem correlação entre si, determinando as variáveis mais significativas no estudo (Andrade *et al.*, 2016).

A ACP assume um papel importante, está por sua vez, extrai o máximo de informações das variáveis que possuem variabilidade entre si ou entre os fatores estabelecidos. Mesmo sendo uma importante ferramenta na investigação da salinidade nos solos, é preciso destacar que a ACP não garante a totalidade da redução de variáveis não explicativas, é o caso das variáveis originais não relacionadas. No entanto, é possível a partir das variáveis explicativas estabelecer um padrão resposta para a tomada de decisões (Hongyu, 2015).

CONCLUSÕES

- Há preocupação com a salinização do solo e por isso uma evolução nas técnicas aplicadas com maior eficiência.
- Dentre as tecnologias mais utilizadas para identificação de salinidade dos solos, a que mais tende a responder perguntas e obter respostas em um planejamento é a técnica de Geoestatística.
- A técnica de sensores de condutividade elétrica surge como uma forma viável e rápida de coletar grande quantidade de dados, servindo de parâmetro de análise para o tomador de decisão.
- A Geoestatística e o Sensoriamento Remoto conseguem ser mais eficientes por ter ser uma técnica imprescindível no processo de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ABBAS, A.; KHAN, S.; HUSSAIN, N.; HANJRA, M. A.; AKBAR, S. Characterizing Soil Salinity in Irrigated Agriculture Using a Remote Sensing Approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2013, vol. 55-57, p. 43-52.

ABDELRAHMAN, M.; METWALY, M.; SHALABY, A. Quantitative Assessment of Soil Saline Degradation Using Remote Sensing Indices in Siwa Oasis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2018, vol. 13.

ALLBED, A.; KUMAR, L.; ALDAKHEEL, Y. Assessing Soil Salinity Using Soil Salinity and Vegetation Indices Derived from IKONOS High-Spatial Resolution Imagery: Applications in a Date Palm Dominated Region. *Geoderma*, 2014, vol. 230-231, p. 1-8.

ALLBED, A.; KUMAR, L.; SINHA, P. Mapping and Modelling Spatial Variation in Soil Salinity in the Al Hassa Oasis Based on Remote Sensing Indicators and Regression Techniques. *Remote Sens*, 2014, vol. 6, p. 1137-1157.

ANDRADE, E. M. de; OLIVEIRA, A. C. M.; LOPES, F. B. Técnicas de estatística multivariada: Investigação da salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO E. (ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza-CE, 2016.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2011, vol.15, nº 4, p. 410–415.

ASFAW, E.; SURYABHAGAVAN, K.V.; ARGAW, M. Modelagem e mapeamento da salinidade do solo usando sensoriamento remoto e SIG: O caso da fazenda de irrigação de cana de açúcar Wonji, Etiópia. *Jornal da Sociedade Saudita de Ciências Agrícolas*, 2018, vol.17, nº 3, p. 250–258.

BANNARI, A.; GUÉDON, A.M.; EL-GHMARI, A. Mapeando solos salinos leves e moderados em terrenos agrícolas irrigados usando dados avançados do sensor de imageador de terras (EO-1) e modelos semi-empíricos e dados, comunicações em ciência do solo e análise de plantas, 2016, vol.47, nº. 16, p.1883-1906.

BEHERA, S. K.; SHUKLA, A. K. (2015). Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. *Land Degradation & Development*, 2015, vol. 26, nº 1, p. 71-79.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. de. A.; SILVA, B. B. da.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F.de F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2014, vol.18, nº 1, p. 73-84.

BOUAZIZ, M.; MATSCHULLAT, J.; GLOAGUEN, R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*, 2011, vol .343, nº 11-12, p. 7955-803.

CAROLINO, J. de A.; GUERRA, H.O.C.; ARAÚJO, W.P.; SOUSA, J.Y.B. de.; ALMEIDA, E.S.A.B. de.; BARRETO, H.T.S. Geoestatística aplicada ao estudo da salinidade do solo, Sumé – Paraíba. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, 2017, p. 72-81.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2003, vol. 27, nº 4, p. 695-703.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIASFILHO, J. M. *Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia*. São Paulo: Atlas,2009. 541 p.

CORWIN, D. L.; SCUDIERO, E. Mapping soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity (ECA) directed soil sampling. *Soil Science Society of America Journal*, 2019, vol. 83, nº 1, p. 3-4.

DEHNI, A.; LOUNIS, M. Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 33, p. 188-198.

- DEHNI, A.; LOUNIS, M. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: Application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 33, p. 188-198.
- ELDEIRY, A.A.; GARCIA, L.A. Comparação de técnicas comuns de krigagem, regressão e cokrigagem para estimar a salinidade do solo usando imagens LANDSAT. *Jornal de Engenharia de Irrigação e Drenagem*, 2010, vol. 136, nº 6, p. 355-364.
- ELDEIRY, A.A.; GARCIA, L.A. Using Indicator Kriging Technique for Soil Salinity and Yield Management. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2011, vol. 137, nº 2.
- FARIFTEH, J.; NEER, F. van der; MEIJDER, M. van der; ATZBERGER, C. Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment. *Geoderma*, 2008, vol. 145, p. 196-206.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Status of the World's Soil Resources*, 2015. 620 p.
- GORJI, T.; TANIK, A.; SERTEL, E. Soil Salinity Prediction, Monitoring and Mapping Using Modern Technologies. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2015, vol. 15, p. 507-512.
- GUPTA, S.; KUMAR, M.; PRIYADARSHINI, R. Electrical Conductivity Sensing for Precision Agriculture: A Review. In *Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms*, 2019, p. 647-659.
- HARTSOCK, N.J.; MUELLER, T.G.; THOMAS, G.W.; BARNHISEL, R.I.; WELLS, K.L.; SHEARER, S.A. Soil electrical conductivity variability. In: *Internacional Conference on Precision Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 2000.
- HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. Characterisation of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site. *Computers & Geosciences*, 2012, vol. 39, p. 98-110.
- HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. The application of EM38: Determination of soil parameters, selection of soil sampling points and use in agriculture and archaeology. *Sensors*, 2017, vol. 17, p. 2540.
- HONGYU, K. *Comparação do GGEbiplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente*. 2015. 155 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- KAZUMI, Y.E.; ISSAO, K. F.; HANSCH, B. F.; SCALVENZI, L.; CAUCHIK M. Comparativo dos softwares de gerenciamento de referências bibliográficas: Mendeley, EndNote e Zotero. *Transinformação*, 2014, vol. 26, nº 2, p. 167-176.
- KLOPP, H. W.; ARRIAGA, F. J.; LIKOS, W. J.; BLEAM, W. F. Atterberg limits and shrink/swell capacity of soil as indicators for sodium sensitivity within a gradient of soil exchangeable sodium percentage and salinity. *Geoderma*, 2019, vol. 353, p. 449-458.

KLOPP, H.W.; ARRIAGA, F.J.; LIKOS, W.J.; E BLEAM, W.F. Atterberg limita e a capacidade de contração / expansão do solo como indicadores da sensibilidade ao sódio em um gradiente de porcentagem e salinidade trocáveis de sódio no solo. *Geoderma*, 2019, vol.353, p. 449-458.

LHISSOU, R.; EL HARTI, A.; CHOKMANI, K. Mapping Soil Salinity in Irrigated Land Using Optical Remote Sensing Data. *Eurasian Journal of Soil Science*, 2014, vol. 3, p. 82-88.

MATTOS, J. B.; SILVA, K. B. Aplicação de mapas auto-organizáveis e SIG: análise espacial da hidroquímica dos aquíferos em uma média cidade brasileira. *Águas Subterrâneas*, 2019, vol. 33, nº 2, p. 210-220.

MIRANDA A. C. C.; VERÍSSIMO A. M.; CEOLIN A. C. PrecisionAgriculture: A Scielo Base Mapping: Um Mapeamento Da Base Da SciELO. *Revista Gestão.Org*, 2017, vol. 15, p. 129-137.

MOREIRA, L. C. J.; TEIXEIRA, A dos S.; GALVÃO, L.S.; LEÃO, R. A. de O.; ROCHA NETO, O.C. da. Identificação de problemas de salinidade do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; Claudivan Feitosa de LACERDA, C, F. de.; GOMES FILHO, E. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; DUARTE, S. N.; SILVA JÚNIOR, M. J.; CAMPELO, C. M. Calibração de extratores providos de cápsula porosa para o monitoramento da salinidade e da concentração de íons. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 2011, vol. 31, nº 3, p. 520-528.

QADIR, M.; QUILLÉROU, E.; NANGIA, V.; MURTAZA, G.; SINGH, M.; THOMAS, R.J.; DRECHSEL, P.; NOBLE, A.D. Economics of Salt-induced Land Degradation and Restoration. *Natural Resources Forum*, 2014, vol. 38, nº 4, p. 282–295.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.A.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V.; SOUZA, E.R.; BARROS, M. de F. C. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo usando ferramentas de geoestatística. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; Claudivan Feitosa de LACERDA, C, F. de.; GOMES FILHO, E. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.

RABELLO, L. M; BERNARDI, A. C. de C & INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília DF: Embrapa, 2014, p. 48-57.

RODRIGUES, H.M.; VASQUES, G.M.; TAVARES, S.R.L.; DANTAS, M.M.; OLIVEIRA, R.P.; SILVA, A.O. Mapeamento da salinidade do solo em ambiente irrigado utilizando o sensor de condutividade elétrica EM38-MK2. *Seminário PIBIC Embrapa Solos 2017/2018*, 2018, p. 51-56.

SCUDIERO, E.; TEATINI, P.; CORWIN, D.L.; DEIANA, R.; BERTI, A.; MORARI, F. Delineamento de unidades de gerenciamento específicas do local em uma região salina

na margem da Lagoa de Venezia, Itália, usando refletância do solo e condutividade elétrica aparente. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, vol. 99, p. 54-64.

SIQUEIRA, G. M.; SILVA, Ê. F. de F.; DA FONTE, Jorge. Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar. *Revista Solos e Nutrição de Plantas*. 2015, vol. 74, nº 2, p. 215-223.

SKIERUCHA, W.; WILCZEK, A.; SZYPŁOWSKA, A.; SŁAWIŃSKI, C.; LAMORSKI, K. A TDR-Based Soil Moisture Monitoring System with Simultaneous Measurement of Soil Temperature and Electrical Conductivity. *Sensors*, 2012, vol. 12, p. 13545-13566.

TEGGI, S.; COSTANZINI, S.; DESPINI, F.; CHIODI, P.; IMMORDINO, F. Imagens SPOT5 para avaliação da salinidade do solo no Iraque. In *Recursos da Terra e Sensoriamento Remoto Ambiental / Aplicações GIS III*, 2012, vol. 8538.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VISCONTI, F.; PAZ, J.M.; RUBIO, J.L. What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? *Geoderma*, 2010, vol. 154, nº 3-4, p. 387-397.

XIE, X.; PU, L.; ZHU, M.; XU, Y.; WANG, X. Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, vol.19, nº 11, p. 3699-3707.

ZHANG, T.; ZENG, S.; GAO, Y.; OUYANG, Z.; LI, B.; FANG, C.; ZHAO, B. Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. *Ecological Indicators*, 2011, vol. 11, nº 6, p. 1552-1562.

ZHANG, T. T.; ZENG, S. L.; GAO, Y.; OUYANG, Z. T.; LI, B.; FANG, C.M.; ZHAO, B. Utilizando índices de vegetação hiperespectral como proxy para monitorar a salinidade do solo. *Indicadores Ecológicos*, 2011, vol.11, nº 6, p. 1552-1562.

© Copyright Amanda Cristiane Gonçalves Fernandes, Lucio Flávio Moreira Cavalcanti, Wanessa Alves Martins, Adriana de Souza Nascimento, Viviane Farias Silva y Revista *GeoGraphos*, 2020. Este artículo se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.



GIECRYAL
GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE
ESTUDIOS CRÍTICOS Y DE AMÉRICA LATINA